

---

## ANALISIS KOMPREHENSIF FENOMENA PETIR : DIMENSI FISIKA, ONTOLOGIS, EPISTEMOLOGIS, AKSIOLOGIS DAN KEAGAMAAN

Dwitri Pilendia<sup>1</sup>, Rayandra Asyhar<sup>2</sup>, Asrial<sup>3</sup>, Syaiful<sup>4</sup>

Author Adress; Jambi; [dwiptera@gmail.com](mailto:dwiptera@gmail.com)

<sup>1,2,3,4</sup> Program Doktor Pendidikan MIPA, Universitas Jambi, Indonesia

**Received:** 10 Oktober 2025

**Revised:** 02 November 2025

**Accepted:** 15 Desember 2025

---

**Abstract:** *Lightning is a complex natural phenomenon that has fascinated humanity since ancient civilizations, both as a scientific subject and a religious symbol. This study was conducted because previous research tends to separate scientific and theological perspectives on lightning; therefore, an integrative analysis is needed to achieve a holistic understanding. The study employs a qualitative analytical-critical literature review approach by examining scientific, philosophical, and religious sources from academic publications and classical texts. The analysis is interpretative, focusing on key concepts from each discipline. The findings reveal that from a physical perspective, lightning is an atmospheric electrostatic discharge caused by charge separation within storm clouds. Ontologically, lightning represents an objective reality independent of human perception. Epistemologically, understanding of lightning has evolved from mythological interpretations to scientific explanations through empirical methods. Axiologically, lightning holds dual value as both a natural hazard and a potential source of energy and ecological balance. Religiously, especially in Islam, lightning is interpreted as a manifestation of divine power. In conclusion, integrating perspectives from physics, philosophy, and religion enriches human understanding of nature and fosters constructive dialogue between science and spirituality..*

**Abstrak:** *Fenomena petir merupakan gejala alam kompleks yang menarik perhatian sejak peradaban kuno, baik sebagai objek ilmiah maupun simbol religius. Penelitian ini dilakukan karena kajian mengenai petir umumnya terpisah antara ranah sains dan agama, sehingga diperlukan analisis lintas disiplin untuk memperoleh pemahaman yang utuh. Penelitian ini menggunakan pendekatan qualitative analytical-critical literature review dengan menelaah sumber ilmiah, filosofis, dan keagamaan dari berbagai publikasi akademik dan teks klasik. Analisis dilakukan secara interpretatif terhadap konsep-konsep kunci dari setiap perspektif. Hasil kajian menunjukkan bahwa secara fisika, petir merupakan pelepasan muatan elektrostatik akibat pemisahan muatan di awan badai. Secara ontologis, petir merepresentasikan realitas objektif yang independen dari persepsi manusia. Secara epistemologis, pemahaman tentang petir berevolusi dari tafsir mitologis menuju pengetahuan ilmiah berbasis metode empiris. Secara aksiologis, petir bernilai ganda sebagai ancaman sekaligus potensi energi dan penyeimbang ekosistem. Secara religius, terutama dalam Islam, petir dimaknai sebagai manifestasi kekuasaan Tuhan. Kesimpulannya, integrasi perspektif fisika, filsafat, dan agama memperkaya pemahaman manusia tentang alam serta membangun dialog konstruktif antara sains dan spiritualitas.*

**Kata kunci:** aksiologi, epistemologi, fisika, ontologi, petir, religius

### PENDAHULUAN

Petir merupakan fenomena alam yang spektakuler sekaligus kompleks, berupa pelepasan elektrostatik atmosfer dengan suhu mencapai 30.000 K dan arus hingga 400.000 A dalam

---

waktu kurang dari satu milidetik (Dwyer & Uman, 2014). Sejak eksperimen Benjamin Franklin pada abad ke-18, pemahaman saintifik tentang petir terus berkembang, namun kompleksitasnya tetap menuntut pendekatan multidisipliner. Di sisi lain, petir juga berperan positif melalui fiksasi nitrogen yang menyuburkan tanah dan potensinya sebagai sumber energi terbarukan (Sinjai Wahdah, 2019).

Pemaknaan manusia terhadap petir mengalami evolusi dari tafsir mitologis sebagai simbol kemarahan dewa seperti Zeus, Jupiter, Thor, dan Tlaloc menuju penjelasan ilmiah berbasis hukum elektromagnetik (Lytham St Annes Classics, 2024). Perubahan ini menandai transisi epistemologis dari mitos menuju metode empiris. Namun demikian, dimensi nilai dan makna spiritual petir tetap penting. Dalam Islam dan Kekristenan, petir dimaknai sebagai tanda kekuasaan Tuhan; Surah Ar-Ra'd menggambarkannya sebagai manifestasi kebesaran.

Penelitian terdahulu masih bersifat parsial fisika atmosfer menyoroti mekanisme elektrisasi awan (Dwyer & Uman, 2014), sementara studi sosial dan humaniora meninjau aspek kultural-religius secara terpisah (Pangesti, 2023). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang menggabungkan sains, filsafat (ontologi, epistemologi, aksiologi), dan agama untuk membangun pemahaman integratif antara ilmu pengetahuan dan keimanan (Azella, 2025; Eka, 2020). Berbeda dengan penelitian sebelumnya, studi ini menekankan integrasi dimensi filsafat, dan religious dalam analisis fenomena petir.

Secara teoritis, penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan filsafat sains melalui penerapan analisis ontologis, epistemologis, dan aksiologis terhadap fenomena alam, khususnya petir. Pendekatan ini memperluas ruang lingkup filsafat sains agar tidak hanya berfokus pada tataran konseptual, tetapi juga pada fenomena empiris yang nyata. Selain itu, penelitian ini memperkuat integrasi interdisipliner antara sains, filsafat, dan studi agama, sehingga melahirkan paradigma baru dalam memahami gejala alam secara menyeluruh dan lintas perspektif. Secara lebih luas, hasil kajian ini juga berkontribusi pada penguatan dialog sains-agama yang konstruktif dan saling melengkapi, serta mendorong terbentuknya sintesis pengetahuan yang menempatkan sains dan nilai-nilai spiritual dalam posisi yang harmonis.

Secara praktis, hasil penelitian ini memberikan manfaat langsung bagi pengembangan pendidikan sains integratif yang menggabungkan dimensi ilmiah, filosofis, dan kultural guna meningkatkan *scientific literacy* peserta didik. Pendekatan integratif ini diharapkan mampu menumbuhkan cara pandang ilmiah yang kritis sekaligus reflektif terhadap nilai dan makna di balik fenomena alam. Selain itu, penelitian ini berpotensi mendukung upaya mitigasi risiko

Published at [https:// ojs.unpari.ac.id/index.php/SJPI/](https://ojs.unpari.ac.id/index.php/SJPI/)

petir melalui pengembangan kebijakan dan sistem proteksi yang lebih efektif dan kontekstual dengan kondisi lokal. Di sisi lain, temuan penelitian ini juga diharapkan dapat memperkaya dialog publik yang produktif mengenai relasi antara fenomena alam, kemajuan teknologi, dan nilai-nilai dalam masyarakat multikultural, sehingga mendorong terbentuknya pemahaman ilmiah yang berakar pada kearifan dan nilai kemanusiaan. Untuk mengatasi kesenjangan penelitian tersebut, studi ini mengadopsi pendekatan multidisipliner yang mengintegrasikan beberapa perspektif komplementer:

### ***Perspektif Fisika***

Menganalisis mekanisme pembentukan petir berdasarkan literatur saintifik terkini, mencakup proses pemisahan muatan dalam awan cumulonimbus, akumulasi medan listrik, inisiasi stepped leader, dan propagasi return stroke. Analisis ini juga akan mencakup teori-teori terbaru tentang mekanisme inisiasi petir yang tidak bergantung pada sinar kosmik.

### ***Perspektif Ontologis***

Secara ontologis, fisika membicarakan tentang apa yang ada (being) dalam realitas alam semesta. Fenomena-fenomena seperti gravitasi, cahaya, listrik, atau pergerakan planet merupakan wujud konkret dari eksistensi hukum alam yang dapat diamati. Pandangan ini sejalan dengan prinsip filsafat sains yang menekankan pentingnya memahami objek material dan formal ilmu (Pilendia, 2024). Mengeksplorasi hakikat realitas fenomena petir dalam kerangka filsafat sains, dengan mengadopsi posisi realis kritis yang mengakui realitas objektif petir sambil mengakui bahwa akses epistemologis manusia terhadapnya selalu dimediasi oleh kerangka konseptual dan instrumen observasi.

### ***Perspektif Epistemologis***

Dari sisi epistemologi, pengetahuan tentang fenomena fisika diperoleh melalui metode ilmiah yang melibatkan observasi, eksperimen, dan perumusan teori. Proses ini sejalan dengan perintah al-Qur'an untuk menggunakan akal dalam memahami tanda-tanda kebesaran Allah di alam semesta. Namun, epistemologi tidak berhenti pada sekadar memperoleh pengetahuan empiris, melainkan juga menuntut justifikasi yang rasional dan konsistensi logis dalam menjelaskan fenomena. Misalnya, teori relativitas Einstein atau mekanika kuantum tidak hanya berdasarkan pada pengamatan, tetapi juga pada kerangka berpikir filosofis yang mendalam. Integrasi antara epistemologi ilmiah dan epistemologi keagamaan memberikan dasar yang lebih komprehensif dalam memahami kebenaran (Hamka, 2019; Nabilah Az Zahra et al., 2023).

Published at [https:// ojs.unpari.ac.id/index.php/SJPI/](https://ojs.unpari.ac.id/index.php/SJPI/)

### ***Perspektif Aksiologis***

Mengidentifikasi dan menganalisis dimensi nilai dari fenomena petir, baik nilai negatif (ancaman terhadap keselamatan dan properti) maupun nilai positif (kontribusi ekologis dan potensi energi), serta mengeksplorasi pertimbangan etis dalam penelitian dan aplikasi pengetahuan tentang petir (Zalta, 2008).

### ***Perspektif Religius***

Dalam kerangka Islam, al-Qur'an menegaskan bahwa segala ciptaan Allah memiliki tanda-tanda kebesaran-Nya (ayat kauniyah) yang dapat ditafsirkan melalui akal budi manusia (Wakit et al., 2025).

### ***Integrasi Interdisipliner***

Analisis mendalam ini diharapkan mampu memberikan wawasan yang lebih jelas tentang peran ilmu fisika dalam konteks filsafat ilmu serta menghubungkan antara sains dan keyakinan (Hidayat, 2024). Pendekatan lintas disiplin seperti ini tidak hanya memperluas wawasan intelektual, tetapi juga memperkuat kesadaran moral-spiritual dalam penggunaan ilmu pengetahuan untuk kepentingan umat manusia dan keberlangsungan alam semesta. Hasil sintesis temuan dari berbagai perspektif di atas untuk mengembangkan pemahaman holistik tentang fenomena petir yang mengakui komplementaritas antara penjelasan saintifik dan interpretasi religius, serta mengidentifikasi implikasi teoretis dan praktis dari integrasi ini. akan mengkaji fenomena petir melalui pendekatan ontologi, epistemologi, aksiologi, dan agama.

Berdasarkan latar belakang dan wawasan pemecahan masalah di atas, penelitian ini memiliki tujuan umum dan tujuan khusus. Tujuan umum yaitu mengembangkan pemahaman komprehensif dan integratif tentang fenomena petir melalui kajian multidisipliner yang mensintesiskan perspektif fisika, filsafat sains (ontologi, epistemologi, dan aksiologi), dan studi agama. Tujuan khususnya yaitu 1) menganalisis mekanisme fisika pembentukan petir berdasarkan literatur saintifik terkini, termasuk teori-teori baru tentang inisiasi petir dan propagasi saluran penghantar, 2) mengeksplorasi dimensi ontologis, epistemologi, dan aksiologis fenomena petir dalam kerangka filsafat sains, 3) menganalisis perspektif religius tentang petir, 4) mengintegrasikan berbagai perspektif dalam kerangka pemahaman multidisipliner yang koheren, mengeksplorasi komplementaritas antara penjelasan saintifik dan interpretasi religius, dan 5) mengidentifikasi implikasi teoretis dan praktis dari kajian

integratif ini untuk pengembangan filsafat sains, dialog sains-agama, dan pendidikan sains yang holistik.

## KAJIAN TEORITIK

### a. Teori Fisika Petir

Pembentukan petir berawal dari pemisahan muatan dalam awan cumulonimbus, sebagaimana dijelaskan oleh hipotesis induktif-konvektif Reynolds et al. (1957) yang menunjukkan bahwa tabrakan antara partikel es dan graupel dalam tetesan air superdingin menyebabkan transfer muatan (Fiveable, 2024). Proses ini dipengaruhi oleh gradien suhu, khususnya pada titik pembalikan muatan sekitar  $-15^{\circ}\text{C}$  (Hong Kong Observatory, 2022). Struktur muatan yang dihasilkan umumnya berpola dipol atau tripol, dengan muatan negatif di bagian tengah-bawah awan, muatan positif di puncak, dan kadang muatan positif kecil di dasar awan (Dwyer & Uman, 2014).

Proses propagasi petir dimulai ketika *stepped leader* bergerak bertahap dari awan menuju tanah dengan kecepatan sekitar 100 km/s. Saat mendekati permukaan bumi, muncul *upward streamer* bermuatan positif yang bertemu dengan *downward leader*, membentuk jalur konduktif lengkap. Pertemuan ini menghasilkan return stroke, yaitu sambaran petir utama yang membawa arus hingga 400.000 ampere dengan kecepatan hampir setengah kecepatan cahaya (Hong Kong Observatory, 2022). Salah satu alat yang dapat digunakan untuk memprediksi petir yaitu *Artificial Neural Network Perceptron* (ANNP) yang lebih baik digunakan untuk memprediksi terjadinya petir dengan tingkat akurasi yang jauh lebih signifikan dibandingkan ANNP-PCA (Indra, 2023).

### b. Kerangka Filosofis : Ontologis, Epistemologis, Aksiologis

Secara ontologis, petir dipahami sebagai realitas objektif yang eksis independen dari pengamat. Dalam perdebatan filsafat sains, realisme ilmiah menganggap entitas seperti medan listrik dan elektron benar-benar ada, sedangkan instrumentalisme melihatnya sebagai konstruksi konseptual. Penelitian ini mengadopsi realisme kritis, yakni mengakui keberadaan objektif petir namun menyadari bahwa pemahaman manusia selalu dimediasi oleh teori dan instrumen ilmiah (Rifqi et al., 2024).

Secara epistemologis, pengetahuan tentang petir diperoleh melalui metode empiris observasi, eksperimen, dan verifikasi. Perkembangan dari tafsir mitologis menuju penjelasan ilmiah mencerminkan pergeseran dari epistemologi berbasis tradisi menuju epistemologi berbasis bukti. Namun, filsafat sains modern menegaskan bahwa pengetahuan ilmiah tidak

sepenuhnya objektif karena selalu dipengaruhi oleh konteks sosial dan nilai-nilai (Moon & Blackman, 2014). Dari sisi aksiologis, petir memiliki nilai ganda: ancaman sekaligus manfaat bagi kehidupan. Aksiologi sains menyoroti pentingnya nilai dan etika dalam penerapan ilmu, termasuk pertimbangan moral dalam mitigasi risiko dan intervensi teknologi terhadap proses alam (Ahzan et al., 2024).

### c. Perspektis Religius tentang Fenomena Alam

Dalam teologi Islam, fenomena alam termasuk petir dipandang sebagai ayat-ayat Allah yang menunjukkan kekuasaan dan kebesaran-Nya. Surah Ar-Ra'd secara khusus membahas petir, dan menurut ulama seperti Ibnu Taimiyah serta Imam As-Suyuthi, *ar-ra'd* (guntur) adalah malaikat yang mengatur awan sesuai sunnatullah. Pandangan ini tidak bertentangan dengan sains, sebab sains menjelaskan mekanisme kausal (bagaimana), sedangkan teologi menjelaskan makna dan tujuan (mengapa) dari fenomena tersebut (Pangesti, 2023).

## METODE PENELITIAN

### 1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini memakai pendekatan kualitatif dengan desain kajian kepustakaan (*library research*) yang bersifat analitis-kritis dan interpretatif. Metode kualitatif dipilih karena kapabilitasnya dalam mengeksplorasi dan memahami makna yang diberikan secara mendalam terhadap fenomena kompleks. Penelitian ini tidak bertujuan untuk mengukur atau mengkuantifikasi, melainkan untuk menginterpretasi dan memaknai gejala petir secara holistik lewat analisis tekstual dan konseptual.

Kajian kepustakaan dipilih sebagai strategi Penelitian utama karena memungkinkan peneliti mengidentifikasi, mengumpulkan, dan menganalisis literatur akademik yang relevan dari beragam disiplin ilmu untuk membangun pemahaman komprehensif. Pendekatan ini memfasilitasi sintesis pengetahuan lintas disiplin yang mencakup fisika atmosfer, filsafat sains (ontologi, epistemologi, dan aksiologi), serta studi agama. Sumber data primer dalam riset ini terdiri dari:

- a. Artikel jurnal ilmiah yang telah melalui *peer-review* yang membahas mekanisme fisika petir, elektrisasi atmosferik, dan dinamika badai petir;
- b. Publikasi dalam ranah filsafat sains yang mengulas ontologi, epistemologi, dan aksiologi;
- c. Teks-teks religius otoritatif seperti Al-Qur'an beserta penafsiran klasik dan kontemporer, dan hadis Nabi Muhammad SAW yang sah.

Data sekunder meliputi buku teks fisika atmosfer, monograf filsafat sains, artikel *review*, dan dokumen kebijakan terkait proteksi petir dan pemanfaatan energi. Sumber-sumber ini dipergunakan untuk memperkaya konteks dan memberikan perspektif historis serta komparatif terhadap pemahaman gejala petir.

## 2. Teknik Pengumpulan Data

Penelusuran literatur dijalankan secara sistematis memakai basis data akademik elektronik termasuk *Google Scholar*, *ScienceDirect*, dan *Scopus* untuk literatur saintifik dan filosofis. Untuk literatur keagamaan, penelusuran dilakukan lewat repositori digital tafsir Al-Qur'an (seperti *Tafsir.com* dan *Quran.com*). Kata kunci pencarian mencakup kombinasi dari: "*lightning physics*", "*lightning formation mechanism*", "*atmospheric electrification*", "*ontology epistemology science*", "*axiology value theory*", "*philosophy of science*", "*petir dalam Islam*", "*thunder in religious texts*", dan "*lightning mythology*".

## 3. Teknik Analisis Data

Penelitian ini menggunakan analisis konten kualitatif untuk mengidentifikasi tema, konsep, dan pola yang muncul dari literatur terkait fenomena petir. Prosedur analisis diawali dengan pembacaan mendalam terhadap teks sumber, diikuti dengan pengkodean tematik untuk mengelompokkan unit-unit makna yang relevan. Kategori utama meliputi mekanisme fisika petir, hakikat realitas (ontologi), cara memperoleh pengetahuan (epistemologi), nilai dan manfaat (aksiologi), serta interpretasi spiritual. Pengkodean dilakukan secara kombinasif antara pendekatan deduktif berdasarkan kerangka teoritik dari literature dan induktif yang memungkinkan munculnya kategori baru sesuai konteks data.

Selanjutnya dilakukan analisis komparatif interdisipliner dengan membandingkan dan mengontraskan temuan dari perspektif sains, filsafat, dan agama. Pendekatan ini bertujuan menghasilkan sintesis konseptual yang memperlihatkan hubungan saling melengkapi antar-disiplin dalam menjelaskan fenomena petir secara holistik. Hasil analisis ini menjadi dasar untuk merumuskan pemahaman integratif yang tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga reflektif terhadap dimensi ilmiah dan spiritual dari gejala alam tersebut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Perspektif Fisika : Mekanisme Pembentukan Petir

#### 1.1 Proses Pemisahan Muatan dalam Awan

Analisis dari berbagai literatur fisika menunjukkan bahwa petir merupakan hasil dari proses elektrisasi awan yang kompleks, khususnya melalui mekanisme non-induktif

charge separation (Mansell et al., 2005; Luque et al., 2020). Proses ini terjadi akibat tumbukan antara kristal es kecil dan partikel graupel yang lebih besar di dalam awan cumulonimbus yang mengandung tetesan air superdingin (Phillips et al., 2020). Studi Luque et al. (2020) menegaskan bahwa perbedaan suhu dan fase air memengaruhi arah transfer muatan, dengan titik pembalikan muatan (charge reversal temperature) sekitar  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Perbandingan temuan menunjukkan konsistensi bahwa graupel cenderung bermuatan negatif pada suhu rendah, sedangkan kristal es kecil bermuatan positif dan terbawa ke bagian atas awan oleh arus udara naik (updraft). Proses konvektif ini membentuk struktur dipol atau tripol muatan: muatan positif di puncak awan (10–12 km), muatan negatif di bagian tengah (5–7 km), dan kadang lapisan positif sekunder di dasar awan (Saunders, 2008). Sementara penelitian Hill et al. (2011) menunjukkan bahwa medan listrik meningkat secara progresif hingga mencapai intensitas kritis sekitar  $3 \times 10^6 \text{ V/m}$ , yang cukup untuk memicu pelepasan listrik atau terjadinya petir.

Sintesis dari berbagai studi memperlihatkan bahwa proses elektrisasi ini tidak hanya bersifat elektrostatik, melainkan juga dinamis termal-konvektif, di mana faktor suhu, kelembaban, dan turbulensi atmosfer saling memengaruhi pembentukan pola muatan. Dengan demikian, fenomena petir merupakan hasil interaksi multidimensi antara termodinamika awan dan dinamika listrik atmosfer.

## 1.2 Mekanisme Pelepasan Listrik dan Propagasi Petir

Ketika medan listrik atmosfer mencapai ambang batas dielektrik udara, inisiasi petir terjadi melalui pembentukan stepped leader yang menjalar dari dasar awan menuju permukaan bumi (Yang, 2025; Ding & Rakov, 2022). Jalur ini terbentuk dalam langkah-langkah pendek sekitar 50 meter dengan interval mikrodetik, menciptakan pola bercabang khas. Saat *leader* mendekati bumi, muncul *streamer* bermuatan positif dari permukaan bumi yang kemudian bertemu dan membentuk saluran konduktor penuh, memicu *return stroke* sambaran petir yang tampak secara visual.

Hasil perbandingan literatur (Liu et al., 2019; Urbani et al., 2022; Zhu et al., 2021) menunjukkan bahwa arus balik ini membawa muatan sangat besar, rata-rata 20.000–30.000 ampere, dan dapat mencapai 400.000 ampere, dengan kecepatan mendekati setengah kecepatan cahaya. Proses ini memanaskan udara sekitar hingga 30.000 K, lima kali lebih panas dari permukaan matahari, menghasilkan ekspansi mendadak yang terdengar sebagai guntur.

Analisis sintesis dari berbagai sumber memperlihatkan bahwa mekanisme pelepasan petir menggambarkan konversi energi potensial listrik menjadi energi elektromagnetik, panas, dan akustik. Proses ini juga menjadi bukti empiris keteraturan alam dalam menjaga keseimbangan listrik atmosferik global. Dengan demikian, dari sudut pandang fisika, petir tidak hanya merupakan fenomena listrik sesaat, tetapi juga bagian dari sistem energi planet yang berfungsi menjaga dinamika ionosfer dan siklus listrik bumi.

**Tabel 1.** Sintesis Perspektif Fisika terhadap Fenomena Petir

Aspek Kajian	Temuan Kunci	Interpretasi Analitis
Pemisahan muatan	Terjadi akibat tumbukan partikel es–graupel dalam awan badai (Mansell et al., 2005; Luque et al., 2020)	Proses non-induktif dan termodinamik menentukan distribusi muatan awan
Medan listrik kritis	Intensitas medan mencapai $3 \times 10^6$ V/m sebelum inisiasi petir (Hill et al., 2011)	Ambang ini menunjukkan batas kestabilan atmosfer terhadap muatan
Propagasi petir	Stepped leader dan return stroke membentuk jalur konduktor ionisasi (Ding & Rakov, 2022)	Petir merupakan bentuk pelepasan energi elektromagnetik terstruktur
Energi dan efek fisik	Pemanasan udara hingga 30.000 K menghasilkan guntur (Liu et al., 2019)	Menunjukkan konversi energi listrik menjadi energi panas dan akustik

## 2. Perspektif Ontologis

### 2.1. Realitas Objektif fenomena Alam

Dari sudut pandang ontologi, petir merepresentasikan realitas objektif (*objective reality*) yang eksis terlepas dari persepsi atau pengetahuan manusia tentangnya. Ontologi, sebagai cabang metafisika yang paling fundamental, mempertanyakan hakikat realitas dan keberadaan "apa yang ada di luar sana untuk diketahui" (*what is out there to know*). Dalam konteks gejala alam seperti petir, pertanyaan ontologis berfokus pada sifat dan eksistensi petir sebagai entitas fisik yang independen dari pengamat.

Petir mempunyai eksistensi material yang bisa diverifikasi lewat observasi dan pengukuran empiris memakai instrumen ilmiah. Sebagai pelepasan elektrostatis, petir adalah manifestasi dari hukum-hukum fisika fundamental yang mengatur interaksi elektromagnetik di alam semesta, khususnya hukum Coulomb tentang gaya elektrostatik, hukum Gauss tentang medan listrik, dan prinsip-prinsip termodinamika. Realitas objektif petir tidak bergantung pada interpretasi budaya atau keyakinan religius tentangnya, meskipun makna yang diberikan manusia terhadapnya dapat bervariasi lintas budaya dan tradisi.

Posisi ontologis realis kritis yang diadopsi dalam riset ini mengakui bahwa meskipun petir mempunyai realitas objektif, akses epistemologis manusia terhadap realitas tersebut selalu dimediasi oleh kerangka konseptual, instrumen observasi, dan teori-teori ilmiah. Dengan kata lain, "petir itu sendiri" (*lightning-in-itself*) eksis secara independen, tetapi "petir sebagaimana diketahui oleh kita" (*lightning-as-known-by-us*) selalu merupakan konstruksi yang melibatkan interpretasi dan teoretisasi.

## 2.2. Posisi dalam Struktur Realitas

Dalam kerangka ontologis yang lebih luas, petir bisa dimengerti sebagai gejala alamiah yang merupakan bagian dari sistem atmosfer bumi yang kompleks. Eksistensinya terikat pada kondisi tertentu (akumulasi muatan listrik dalam awan badai yang memenuhi kriteria tertentu) dan mengikuti hukum kausalitas fisika yang deterministik hingga tingkat tertentu. Petir tidak mempunyai status ontologis yang terpisah dari sistem fisik yang lebih luas, tetapi merupakan fenomena emergent yang muncul dari interaksi kompleks antara berbagai faktor atmosfer.

Dari sudut pandang realisme nilai, petir mempunyai properti objektif yang bisa dipelajari dan dipahami secara ilmiah, terlepas dari nilai-nilai subjektif yang mungkin dilekatkan padanya oleh berbagai budaya. Namun, ini tidak meniadakan legitimasi interpretasi nilai terhadap petir, yang akan dibahas dalam bagian aksiologi.

## 3. Perspektif Epistemologis

### 3.1 Evolusi Pengetahuan tentang Petir

Epistemologi, sebagai teori pengetahuan, mengkaji bagaimana manusia memperoleh pengetahuan mengenai petir, apa yang bisa diketahui tentangnya, dan apa kriteria validitas pengetahuan tersebut. Pengetahuan mengenai petir telah mengalami

transformasi signifikan dari pemahaman mitologis menuju eksplanasi saintifik yang rigorous.

Dalam peradaban kuno, petir diinterpretasikan sebagai manifestasi kemarahan atau kekuatan dewa. Zeus dalam mitologi Yunani digambarkan memakai petir sebagai senjata untuk menghukum atau menunjukkan kekuasaannya. Jupiter dalam mitologi Romawi, Thor dalam mitologi Nordik dengan palu petirnya Mjölner, dan Tlaloc dalam kebudayaan Aztec semuanya dikaitkan dengan petir sebagai simbol otoritas ilahi (Schlegel, 2024). Dalam kerangka epistemologis, pemahaman mitologis ini mewakili cara mengetahui yang berbasis pada tradisi lisan, narasi religius, dan interpretasi antropomorfik terhadap gejala alam.

Transisi epistemologis dimulai pada era Pencerahan dengan perkembangan metode saintifik. Eksperimen terkenal Benjamin Franklin dengan layang-layang pada tahun 1752 menandai momen penting dalam sejarah epistemologi petir (EBSCO, 2018), di mana petir mulai dipahami sebagai fenomena elektrik yang bisa dipelajari secara empiris. Penemuan penangkal petir oleh Franklin segera setelahnya mendemonstrasikan bahwa pengetahuan saintifik mengenai petir bisa diterapkan secara praktis untuk proteksi (Aeon, 2021).

Transisi ini menandai pergeseran dari pendekatan interpretivis yang subjektif menuju positivisme yang objektif dalam epistemologi gejala alam. Metode saintifik modern yang mengandalkan observasi empiris, eksperimen terkontrol, dan verifikasi matematis telah menghasilkan pemahaman yang jauh lebih akurat mengenai mekanisme fisik petir.

### 3.2 Metode dan Batasan Pengetahuan

Pengetahuan epistemologis mengenai petir diperoleh lewat beragam metode komplementer. Pertama, observasi langsung memakai instrumen seperti kamera berkecepatan tinggi, sensor elektromagnetik, dan radar Doppler memungkinkan para ilmuwan untuk mengamati dan merekam proses terbentuknya petir secara real-time. Kedua, pemodelan matematis memakai persamaan Maxwell dan simulasi komputer memungkinkan prediksi dan pemahaman tentang dinamika medan listrik dalam awan.

Ketiga, eksperimen laboratorium yang mencoba mereplikasi kondisi terbentuknya petir dalam skala kecil memberikan wawasan mengenai mekanisme fundamental ionisasi udara dan pelepasan elektrik. Keempat, pengukuran instrumental memakai jaringan

deteksi petir global (*lightning detection networks*) memberikan data statistik mengenai distribusi, frekuensi, dan karakteristik petir di seluruh dunia.

Namun, batasan epistemologis tetap ada. Kompleksitas sistem atmosfer dan sifat acak dari inisiasi petir membuat prediksi lokasi dan waktu kejadian petir dengan akurasi tinggi masih menjadi tantangan. Meskipun model numerik cuaca bisa memprediksi kemungkinan aktivitas petir dalam skala wilayah dan temporal yang luas, prediksi sambaran individual dengan presisi tinggi masih melampaui kemampuan saat ini.

Hal ini mencerminkan keterbatasan intrinsik dalam pengetahuan manusia mengenai gejala alam yang sangat kompleks, di mana meskipun prinsip-prinsip umum telah dipahami dengan baik, detail spesifik dari setiap kejadian masih mengandung elemen ketidakpastian. Keterbatasan ini juga mengilustrasikan perbedaan antara pengetahuan nomologis (pengetahuan mengenai hukum-hukum umum) dan pengetahuan ideografis (pengetahuan mengenai kejadian-kejadian spesifik) dalam sains.

#### 4. Perspektif Aksiologis

##### 4.1 Teori Nilai Terapan pada Fenomena Petir

Aksiologi, atau teori nilai, mengkaji hakikat, sumber, dan jenis-jenis nilai. Dalam konteks gejala petir, pendekatan aksiologis mengeksplorasi nilai-nilai yang terkait dengan pemahaman dan pemanfaatan petir, baik nilai intrinsik maupun nilai instrumental. Nilai intrinsik berkaitan dengan kebaikan sesuatu dalam dirinya sendiri (*good in itself*), sementara nilai instrumental berkaitan dengan kegunaan sebagai sarana untuk mencapai tujuan lain (*good as a means*).

Dari perspektif estetika, petir mempunyai nilai intrinsik sebagai gejala alam yang indah dan menakjubkan, yang membangkitkan rasa kagum (*awe*) dan keheranan (*wonder*) dalam pengalaman manusia. Namun, sebagian besar diskursus aksiologis mengenai petir berfokus pada nilai instrumentalnya, baik nilai positif maupun negatif dalam kehidupan manusia.

##### 4.2 Dimensi Nilai Negatif : Petir Sebagai Ancaman

Petir mempunyai nilai instrumental negatif yang signifikan sebagai ancaman terhadap keselamatan manusia, infrastruktur, dan ekosistem. Menurut National Weather Service di Amerika Serikat, rata-rata 20 orang meninggal dan ratusan orang terluka setiap tahunnya akibat sambaran petir di negara tersebut saja. Secara global, angka ini jauh lebih tinggi, dengan estimasi ribuan kematian per tahun, terutama di negara-negara berkembang di mana sistem proteksi petir kurang memadai.

Kerusakan infrastruktur akibat petir juga sangat substansial. Petir bisa menyebabkan kebakaran pada bangunan, kerusakan pada sistem elektronik dan kelistrikan, gangguan pada jaringan telekomunikasi dan navigasi, serta kerusakan pada pesawat terbang. Kerugian ekonomi global akibat petir diestimasi mencapai miliaran dolar setiap tahunnya.

Dalam konteks ekologis, meskipun petir mempunyai peran positif (yang akan dibahas berikutnya), ia juga bisa menyebabkan kebakaran hutan yang ekstensif, terutama di wilayah dengan iklim kering. Kebakaran hutan yang dipicu oleh petir bisa menghancurkan habitat, mengancam biodiversitas, dan melepaskan karbon dalam jumlah besar ke atmosfer.

Nilai negatif ini telah mendorong pengembangan teknologi proteksi petir. Penangkal petir, yang pertama kali dikembangkan oleh Benjamin Franklin pada abad ke-18, terus disempurnakan dengan sistem *lightning protection system* (LPS) modern yang mencakup terminal udara, konduktor turun, dan sistem pentanahan yang komprehensif. Perkembangan ini mendemonstrasikan bagaimana pengetahuan aksiologis mengenai nilai negatif petir, dikombinasikan dengan pemahaman epistemologis tentang mekanismenya, menghasilkan solusi teknologis yang mengurangi risiko.

#### 4.3 Dimensi Nilai Positif : Manfaat Ekologis dan Potensial

Di sisi lain, petir mempunyai nilai instrumental positif yang penting dalam konteks ekologis dan potensi energi. Petir berperan krusial dalam fiksasi nitrogen atmosfer, sebuah proses di mana nitrogen molekular ( $N_2$ ) yang tidak reaktif di atmosfer diubah menjadi senyawa nitrogen reaktif seperti nitrogen oksida ( $NO$  dan  $NO_2$ ). Energi panas ekstrem dari petir (hingga 30.000 K) menyediakan energi aktivasi yang diperlukan untuk memecah ikatan rangkap tiga yang sangat kuat dalam molekul  $N_2$  (Barth et al., 2023)

Senyawa nitrogen oksida yang terbentuk kemudian bereaksi dengan oksigen dan uap air di atmosfer untuk membentuk asam nitrat ( $HNO_3$ ), yang turun bersama hujan sebagai "pupuk alami". Nitrogen dalam bentuk ini bisa diserap oleh tanaman, berkontribusi pada kesuburan tanah dan produktivitas ekosistem. Estimasi menunjukkan bahwa petir berkontribusi sekitar 5-8% dari total fiksasi nitrogen global, angka yang signifikan dalam siklus biogeokimia nitrogen.

Dari perspektif energi, setiap sambaran petir melepaskan energi yang sangat besar, dengan estimasi sekitar 1-5 miliar joule per sambaran. Dengan sekitar 100 sambaran petir terjadi setiap detik di seluruh dunia, total energi yang dilepaskan oleh petir global

sangat substansial. Ini telah memicu diskusi mengenai kemungkinan pemanfaatan energi petir sebagai sumber listrik terbarukan.

Namun, pemanfaatan energi petir menghadapi tantangan teknis yang signifikan. Pertama, energi petir sangat terkonsentrasi dalam durasi yang sangat singkat (milidetik), membuat penangkapan dan penyimpanan energi menjadi sangat sulit dengan teknologi saat ini (Krider, 2006). Kedua, distribusi spasial dan temporal petir sangat tidak dapat diprediksi, membuat infrastruktur penangkapan energi menjadi tidak praktis dan tidak efisien secara ekonomi. Ketiga, daya puncak yang sangat tinggi (gigawatt) bisa merusak sistem penangkapan energi. Meskipun demikian, riset mengenai pemanfaatan energi petir terus berlanjut sebagai area eksplorasi teknologi masa depan .

#### 4.4 Dimensi Etis dan Kebijakan

Dimensi aksiologis juga mencakup pertimbangan etis dalam riset dan aplikasi pengetahuan mengenai petir. Pertanyaan etis muncul terkait dengan pengembangan teknologi modifikasi cuaca (*weather modification*), termasuk kemungkinan modifikasi aktivitas petir untuk tujuan tertentu. Intervensi terhadap proses atmosfer alamiah menimbulkan pertanyaan mengenai risiko ekologis yang tidak diinginkan, distribusi keadilan (siapa yang mendapat manfaat dan siapa yang menanggung risiko), dan legitimasi moral untuk mengubah sistem alam.

Aksiologi ilmu pengetahuan dalam konteks ini menekankan pentingnya mempertimbangkan dampak sosial, lingkungan, dan etis dari penggunaan pengetahuan saintifik mengenai petir. Prinsip kehati-hatian (*precautionary principle*) menjadi relevan, di mana tindakan yang melibatkan risiko signifikan atau ketidakpastian substansial harus dievaluasi secara hati-hati sebelum implementasi.

### 5. Perspektif Religius

#### 5.1 Petir dalam Islam

Selain dimensi filosofis, agama berperan penting dalam memberi arah dan makna atas pengetahuan fisika. Fenomena alam dalam pandangan agama Islam bukanlah kebetulan, melainkan manifestasi dari sunnatullah yang tetap dan konsisten. Al-Qur'an berulang kali mendorong manusia untuk merenungkan ciptaan langit dan bumi sebagai tanda kekuasaan Allah (Mirza & Wahyudi, 2025). Dengan demikian, agama tidak berfungsi sebagai penghalang perkembangan ilmu pengetahuan, tetapi justru memberikan kerangka etik dan spiritual dalam pengembangan sains. Integrasi antara sains dan agama

inilah yang dapat menghasilkan pemahaman yang utuh serta menghindarkan manusia dari penyalahgunaan ilmu (Marlina et al., 2025)

Dalam tradisi Islam, petir mempunyai makna spiritual yang dalam dan terekam dalam Al-Qur'an, khususnya dalam Surah Ar-Ra'd (Surah ke-13 yang secara harfiah berarti "Guruh" atau "Petir"). Al-Qur'an memakai tiga istilah utama untuk menggambarkan gejala petir: ar-ra'du (الرعد, suara guntur), ash-shawaiq (الصواعق, kilatan petir atau halilintar), dan al-barq (البرق, cahaya kilat).

Dalam Al-Qur'an, petir disebutkan sebagai tanda kekuasaan Allah (Zulkifri & Sholikhah, 2023). QS. Ar-Ra'd: 12:

هُوَ الَّذِي يُرِيكُمُ الْبَرْقَ خَوْفًا وَطَمَعًا وَيُنشِئُ السَّحَابَ الثِّقَالَ ﴿١٢﴾

*Dialah yang memperlihatkan kepadamu kilat (untuk menimbulkan) ketakutan dan harapan (akan turun hujan) serta menjadikan awan yang berat (mendung).*

Ayat tersebut menjelaskan bahwa kilat menimbulkan rasa takut sekaligus harapan, dan QS. An-Nur: 43 menggambarkan kekuasaan Allah yang menurunkan hujan disertai kilat.

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ يُرْجِي سَحَابًا ثُمَّ يُؤَلِّفُ بَيْنَهُ ثُمَّ يَجْعَلُهُ رُكَامًا فَتَرَى الْوَدْقَ يَخْرُجُ  
مِنْ خِلَالِهِ وَيُنزِلُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ جِبَالٍ فِيهَا مِنْ بَرَدٍ فَيُصِيبُ بِهِ مَنْ يَشَاءُ  
وَيَصْرِفُهُ عَنِ مَنْ يَشَاءُ يَكَادُ سَنَا بَرْقِهِ يَذْهَبُ بِالْأَبْصَارِ ﴿٤٣﴾

*Tidakkah engkau melihat bahwa sesungguhnya Allah mengarahkan awan secara perlahan, kemudian mengumpulkannya, lalu menjadikannya bertumpuk-tumpuk. Maka, engkau melihat hujan keluar dari celah-celahnya. Dia (juga) menurunkan (butiran-butiran) es dari langit, (yaitu) dari (gumpalan-gumpalan awan seperti) gunung-gunung. Maka, Dia menimpakannya (butiran-butiran es itu) kepada siapa yang Dia kehendaki dan memalingkannya dari siapa yang Dia kehendaki. Kilauan kilatnya hampir-hampir menghilangkan penglihatan*

Menurut tafsir klasik, termasuk dari Ibnu Taimiyah, Imam As-Suyuthi, dan Ibnu Abbas, ar-ra'du bukan hanya suara guntur dalam pengertian fisik semata, melainkan merujuk pada malaikat yang ditugasi mengatur awan dan proses meteorologis. Hadis Nabi Muhammad SAW yang diriwayatkan oleh Imam At-Tirmidzi menegaskan Ar-

Ra'du (petir) ialah malaikat yang diberi tugas mengurus awan dan bersamanya pengoyak dari api yang memindahkan awan sesuai dengan kehendak Allah".

Interpretasi teologis ini tidak harus dipahami sebagai kontradiksi dengan penjelasan saintifik mengenai mekanisme fisika petir. Dalam kerangka teologi Islam, malaikat dipahami sebagai entitas spiritual yang bertugas menjalankan hukum-hukum alam (*sunnatullah*) yang ditetapkan Allah. Dengan demikian, penjelasan saintifik mengenai proses elektrisasi atmosfer dan penjelasan teologis mengenai peran malaikat bisa dipahami sebagai dua level penjelasan yang komplementer: level mekanisme kausal (bagaimana petir terjadi) dan level teleologis-spiritual (mengapa petir ada dalam rencana kosmik yang lebih besar).

Suara guntur yang mengikuti petir dijelaskan sebagai "tasbih" (pujian dan glorifikasi kepada Allah) dari malaikat dan fenomena alam itu sendiri. Ini mencerminkan pandangan Islam yang holistik di mana seluruh alam semesta dipahami sebagai ayat-ayat yang menunjuk kepada kekuasaan dan keagungan Sang Pencipta.

Dalam praksis religius, ketika mendengar suara petir, umat Islam dianjurkan untuk membaca doa: "سُبْحَانَ الَّذِي يُسَبِّحُ الرَّعْدُ بِحَمْدِهِ وَالْمَلَائِكَةُ مِنْ خِيفَتِهِ" (*Subhanalladzi yusabbihur ro'du bi hamdihi wal mala-ikatu min khiifatih*) yang artinya: "Mahasuci Allah yang petir dan para malaikat bertasbih dengan memuji-Nya karena rasa takut kepada-Nya". Doa ini berfungsi sebagai pengingat spiritual mengenai keagungan Allah dan posisi manusia sebagai hamba yang tunduk kepada kekuasaan-Nya.

Petir juga berfungsi sebagai peringatan dalam teologi Islam. Surah Al-Baqarah ayat 19-20 memakai metafora badai petir untuk menggambarkan kondisi orang-orang munafik yang berada dalam kebingungan dan ketakutan. Surah Al-Baqarah ayat 55 menceritakan kaum Nabi Musa yang meminta bukti langsung dari Allah dan kemudian disambar oleh petir sebagai konsekuensi dari tuntutan mereka yang tidak sopan. Ini menunjukkan bahwa petir dalam Al-Qur'an berfungsi tidak hanya sebagai gejala alam tetapi juga sebagai instrumen penghakiman ilahi.

## 6. Integrasi Perspektif : Dialog Sains dan Agama

### 6.1 Komplementaritas Penjelasan

Kajian multidisipliner mengenai petir mengungkapkan bahwa perspektif saintifik dan religius tidak harus dilihat sebagai kontradiktif atau saling meniadakan, melainkan sebagai cara berbeda untuk memahami gejala yang sama pada level yang berbeda.

Penjelasan fisika menyediakan mekanisme kausal mengenai bagaimana petir terjadi

pemisahan muatan, akumulasi medan listrik, ionisasi udara, dan propagasi saluran penghantar. Sementara itu, interpretasi religius menyediakan makna teleologis mengenai mengapa petir ada dalam rencana kosmik yang lebih besar dan apa signifikansi spiritualnya bagi kehidupan manusia.

Dalam konteks gejala petir, penjelasan saintifik mengenai mekanisme elektrisasi atmosfer tidak menghilangkan makna spiritual petir sebagai tanda kekuasaan Tuhan dalam pandangan Islam atau sebagai simbol penghakiman ilahi dalam Kekristenan. Sebaliknya, apresiasi terhadap kompleksitas mekanisme fisika petir bisa memperdalam rasa kagum terhadap keteraturan dan keindahan hukum-hukum alam yang dalam teologi dipahami sebagai manifestasi kebijaksanaan Ilahi.

## 6.2 Implikasi Pada Pendidikan Sains

Pemahaman holistik mengenai gejala petir mempunyai implikasi penting untuk pendidikan sains, terutama dalam konteks masyarakat yang beragam secara religius dan kultural. Mengintegrasikan perspektif filosofis dan kultural dalam pembelajaran sains bisa membantu siswa mengembangkan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara pengetahuan ilmiah, nilai-nilai, dan keyakinan.

Pendekatan ini konsisten dengan visi pendidikan sains yang tidak hanya mengajarkan fakta-fakta dan teori-teori saintifik, tetapi juga mengembangkan *scientific literacy* yang mencakup pemahaman mengenai hakikat sains (*nature of science*), metode sains, dan tempat sains dalam konteks sosial dan kultural yang lebih luas. Gejala petir, dengan dimensi fisik, filosofis, dan spiritualnya yang kaya, menyediakan konteks pembelajaran yang ideal untuk tujuan pedagogis ini.

Pembelajaran mengenai petir bisa dimulai dengan eksplorasi konsepsi awal siswa, yang mungkin mencakup pemahaman informal, interpretasi kultural, atau keyakinan religius. Kemudian, lewat pendekatan *conceptual change*, siswa dibimbing untuk memahami penjelasan saintifik mengenai mekanisme petir tanpa harus menolak atau merendahkan perspektif religius mereka. Dialog reflektif mengenai perbedaan dan keterkaitan antara penjelasan saintifik dan religius bisa memfasilitasi pemahaman epistemologis yang lebih matang.

## **SIMPULAN DAN SARAN**

### **1. Simpulan**

Penelitian ini mengkaji fenomena petir melalui pendekatan multidisipliner yang mengintegrasikan perspektif fisika, filsafat sains, dan pandangan religius. Secara fisik, petir merupakan pelepasan muatan listrik akibat interaksi partikel di awan badai yang tunduk pada hukum-hukum elektromagnetik. Dari sudut pandang ontologis, petir dipahami sebagai realitas objektif yang eksis terlepas dari persepsi manusia; secara epistemologis, pemahaman terhadapnya berevolusi dari penafsiran mitologis menuju konstruksi ilmiah yang berbasis pada observasi dan teori elektromagnetik. Secara aksiologis, petir memiliki nilai ambivalen—sebagai ancaman bagi keselamatan manusia sekaligus sebagai sumber manfaat ekologis melalui fiksasi nitrogen dan potensi energi.

Studi ini menunjukkan bahwa integrasi epistemologi sains dan teologi memperluas pemahaman terhadap fenomena alam, menjembatani rasionalitas ilmiah dengan makna spiritual. Analisis interdisipliner ini menegaskan bahwa dialog antara sains, filsafat, dan agama tidak hanya bersifat konseptual, tetapi juga berpotensi menjadi fondasi bagi pendidikan sains holistik yang menumbuhkan literasi ilmiah, kesadaran etis, dan spiritualitas ekologis. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan paradigma baru dalam studi sains yang lebih reflektif, kontekstual, dan transformatif.

### **2. Saran**

Berdasarkan hasil analisis, disarankan agar kajian interdisipliner antara sains, filsafat, dan teologi terus dikembangkan secara lebih sistematis untuk memperdalam pemahaman terhadap fenomena alam. Dalam konteks pendidikan sains, perlu dilakukan penelitian empiris mengenai integrasi filsafat sains dan teologi dalam kurikulum fisika di perguruan tinggi maupun sekolah menengah, khususnya terkait pengembangan literasi sains yang berbasis nilai dan kearifan lokal.

Selain itu, riset lanjutan dapat diarahkan pada pengembangan model pembelajaran sains integratif yang mengaitkan analisis ilmiah dengan refleksi etis dan spiritual. Kajian tentang mitigasi risiko petir juga perlu mempertimbangkan aspek sosial-budaya dan religius masyarakat agar kebijakan yang dihasilkan lebih kontekstual dan berdaya guna. Pemerintah, akademisi, dan tokoh agama diharapkan memperkuat dialog publik sains agama untuk menumbuhkan kesadaran ekologis dan memastikan bahwa inovasi teknologi tetap berpijak pada nilai kemanusiaan serta keberlanjutan lingkungan.

---

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahzan, S., Prayogi, S., Azmi, I., Asy'ari, M., & Samsuri, T. (2024). Technology-Based Future Science Education: Axiological Philosophy in the Framework of Bibliometric Analysis. *Prisma Sains : Jurnal Pengkajian Ilmu Dan Pembelajaran Matematika Dan IPA IKIP Mataram*, 12(1), 267. <https://doi.org/10.33394/j-ps.v12i1.10895>
- Azella, S. (2025). Fisika dan Keimanan : Pendekatan Pendidikan Agama Islam Melalui Fenomena Alam. *Njer (Nasr Journal of Educational Research)*, 1(1), 22–28.
- Barth, P., Stüeken, E. E., Helling, C., Rossmann, L., Peng, Y., Walters, W., & Claire, M. (2023). Isotopic constraints on lightning as a source of fixed nitrogen in Earth's early biosphere. *Nature Geoscience*, 16(6), 478–484. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01187-2>
- Ding, Z., & Rakov. (2022). Toward a better understanding of negative lightning stepped leaders. *Electric Power Systems Research*, 209(April), 108043. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108043>
- Eka, M. (2020). Hakikat Fisika dan Keterampilan Proses Sains. *Jurnal Filsafat Indonesia*, 3(3), 72–80.
- Erdmann, F., & Poelman, D. R. (2025). Insights into thunderstorm characteristics from geostationary lightning jump and dive observations. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 25(5), 1751–1768. <https://doi.org/10.5194/nhess-25-1751-2025>
- Fiveable Content Team. (2024). Lightning formation: Atmospheric physics unit 8 review. In *Fiveable*. Retrieved from <https://fiveable.me/atmospheric-physics/unit-8/lightning-formation/study-guide/3DDaexM2WCi0gZp>
- Ferruzi Agfanny, Djayus, S. (2020). Tren Sambaran Petir Cloud To Ground Kota Balikpapan Thun 2016-2018. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 3(2), 2020. <http://jurnal.fmipa.unmul.ac.id/index.php/geofis/article/download/693/304>
- Hamka, S. (2019). Studi Kritis Pemikiran Fisika Modern Stephen Hawking Menurut Filsafat Pendidikan Islam. *Tawazun: Jurnal Pendidikan Islam*, 12(1), 1. <https://doi.org/10.32832/tawazun.v12i1.1895>
- Hidayat, R. (2024). Harmonisasi Pengetahuan: Menelusuri Interaksi Islam dan Filsafat dalam Pengembangan Ilmu Pengetahuan. *EL-FIKR: Jurnal Aqidah Dan Filsafat Islam*, 5(1), 37–53. <https://doi.org/10.19109/el-fikr.v5i1.21680>
- Hill, J. D., Uman, M. A., & Jordan, D. M. (2011). High-speed video observations of a lightning stepped leader. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 116(16), 1–8. <https://doi.org/10.1029/2011JD015818>
- Lytham St Annes Classics. (2024). *Lightning in ancient mythologies*. Lytham St Annes Classical Association Blog. Retrieved from : <https://lsaclassics.com/2024/10/09/lightning-in-ancient-mythologies/>
- Liu, G., Yuan, P., An, T., Sun, D., Cen, J., & Wang, X. (2019). Using Saha-Boltzmann Plot to Diagnose Lightning Return Stroke Channel Temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(8), 4689–4698. <https://doi.org/10.1029/2018JD028620>
- Luque, M. Y., Nollas, F., Pereyra, R. G., Bürgesser, R. E., & Ávila, E. E. (2020). Charge Separation in Collisions Between Ice Crystals and a Spherical Simulated Graupel of Centimeter Size. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(3), 1–8. <https://doi.org/10.1029/2019JD030941>

- Mansell, E. R., MacGorman, D. R., Ziegler, C. L., & Straka, J. M. (2005). Charge structure and lightning sensitivity in a simulated multicell thunderstorm. *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 110(12), 1–24. <https://doi.org/10.1029/2004JD005287>
- Marlina, C. N., Mahmud, S., & Rahmi, S. (2025). Sinergi Ilmu Dan Iman: Peran Integrasi Agama Dalam Pendidikan Modern. *IKHTISAR: Jurnal Pengetahuan Islam*, 5(Institut Agama Islam Sumatera Barat Pariaman), 131–144. <https://doi.org/xx.xxxxx/xxxx/IJPI>
- Mirza, I., & Wahyudi, A. W. (2025). Analisis Implementasi Nilai Tafsir Tarbawi Dalam Pengembangan Karakter Peserta Didik : Kajian Literatur Tafsir Al- Qur ' an. *Jurnal Pendidikan Indonesia: Teori, Penelitian Dan Inovasi*, 5(1), 1–6. <https://doi.org/10.59818/jpi.v5i1.1189>
- Mu, Y., Yuan, P., Wang, X., & Dong, C. (2016). Temperature distribution and evolution characteristic in lightning return stroke channel. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 145, 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2016.04.013>
- Nabilah Az Zahra, Shafa Dwi Kamilah, Ulvia Khoirunisa Bisanti, I Ketut Mahardika, Ernasari, & Sri Handono. (2023). Filsafat Sains Sebagai Perspektif Terhadap Pembelajaran Fisika. *Didaktik : Jurnal Ilmiah PGSD STKIP Subang*, 9(5), 1085–1091. <https://doi.org/10.36989/didaktik.v9i5.2055>
- Phillips, V. T. J., Formenton, M., Kanawade, V. P., Karlsson, L. R., Patade, S., Sun, J., Barthe, C., Pinty, J. P., Detwiler, A. G., Lyu, W., & Tessorf, S. A. (2020). Multiple environmental influences on the lightning of cold-based continental cumulonimbus clouds. Part I: Description and validation of model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 77(12), 3999–4024. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-19-0200.1>
- Pilendia, D. (2024). KAJIAN FILSAFAT ILMU: INTEGRASI MULTIMEDIA INTERAKTIF DAN KEARIFAN LOKAL DALAM PEMBELAJARAN FISIKA. *Jurnal Pendidikan Sang Surya*, 10(2), 474–481.
- Rifqi, A., Dewi, E., & Aziz, M. Z. (2024). Dissecting the Foundations of the Philosophy of Science: Ontology, Epistemology, and Axiology in a Contemporary Perspective. *International Journal Of Education, Social Studies, And Management (IJESSM)*, 4(3), 1259–1267. <https://doi.org/10.52121/ijessm.v4i3.569>
- Urbani, M., Montanyá, J., van der Velde, O. A., Arcanjo, M., & López, J. A. (2022). Multi-Stroke Positive Cloud-To-Ground Lightning Sharing the Same Channel Observed With a VHF Broadband Interferometer. *Geophysical Research Letters*, 49(9). <https://doi.org/10.1029/2021GL097272>
- Wakit, S., Suyitno, M., & Dacholfany, M. I. (2025). Integration Between Qauliyah and Kauniyah Verses With Science And Technology In Islamic Education. *Halaqa: Islamic Education Journal*, 9(2), 10–20. <https://doi.org/10.21070/halaqa.v9i2.1726>
- Yang, Q., Wang, D., Yang, J., Liu, H., Wu, T., & Takagi, N. (2025). Initiation Process of a Winter Cloud-to-Ground Lightning Flash. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 130(5). <https://doi.org/10.1029/2024JD041672>
- Zalta, E. N. (Ed.). (2008). *Value theory*. In Stanford Encyclopedia of Philosophy. Retrieved from <https://plato.stanford.edu/entries/value-theory/>
- Zeng, R., Zhuang, C., Zhou, X., Chen, S., Wang, Z., Yu, Z., & He, J. (2016). Survey of recent progress on lightning and lightning protection research. *High Voltage*, 1(1), 2–10. <https://doi.org/10.1049/hve.2016.0004>
- Zhu, Y., Bitzer, P., Rakov, V., Stock, M., Lapierre, J., DiGangi, E., Ding, Z., Medina, B.,

- Carey, L., & Lang, T. (2021). Multiple Strokes Along the Same Channel to Ground in Positive Lightning Produced by a Supercell. *Geophysical Research Letters*, 48(23), 1–10. <https://doi.org/10.1029/2021GL096714>
- Zulkifri, Z., & Sholikhah, S. . (2023). DAMPAK KILAT TERHADAP PENGLIHATAN MANUSIA PERSPEKTIF AL-QUR'AN DAN SAINS. *Tanzil: Jurnal Studi Al-Quran*, 5(2), 171–182.